

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学号: 19920071151189

UDC _____

厦门大学

硕 士 学 位 论 文

电液动力耦合喷印系统中的有芯喷头
结构研究

On the Pole-type Inkjet Head in Electrohydrodynamic
Printing System

庄 根 煌

指导教师姓名: 孙 道 恒 教授

专 业 名 称 : 航空宇航制造工程

论文提交日期: 2010 年 5 月

论文答辩日期: 2010 年 6 月

学位授予日期:

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2010 年 5 月

厦门大学博硕士论文摘要库

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学博硕士论文摘要库

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（ ） 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

（ ☒ ） 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学博硕士论文摘要库

摘要

基于电液动力学原理的电液动力耦合喷印技术是一种全新的材料喷印技术，凭借其独特的优势，成为满足下一代柔性电子制造最有希望的潜在技术，也是精密、微结构零件快速成型不可或缺的关键技术之一。电液耦合喷印技术喷印规律、喷印工艺及微喷头的研究具有重要学术价值和重大现实意义，已经引起国际学术界与工业界的高度关注。本文以改进喷头结构，提高喷印性能为出发点，对电液动力耦合喷印系统中有芯喷头结构展开研究，考察有芯喷头的喷印规律及主要结构参数的影响。具体研究工作包括以下几个部分：

- (1) 通过力学模型分析研究电液动力耦合喷印的基本原理，讨论实现脉冲锥射流喷射的基本条件，脉冲锥射流喷射的实现必须首先满足高电平作用时间内，悬滴表面切向合力 $f_t > 0$ ，法向合力 $f_n < 0$ ，且高电平作用时间大于锥形液面形成时间；为了实现喷射频率与脉冲频率同步的频率可控按需喷印，还需同时满足低电平作用时间大于液面达到临界高度所需时间；
- (2) 通过实验研究与有限元仿真相结合的方法考察有芯喷头结构对锥射流喷射过程的影响。由于有芯喷头中存在实心针，针尖附近悬滴表面出现场强突变的区域，使得有芯喷头射流喷射容易在悬滴尖端处出现断流，从而喷射出尺寸更小的液滴。同时，实心针也起着提高溶液定向喷射能力，抑制悬滴中心溶液回流的作用，能够提高悬滴液面稳定性，提高喷射精度；
- (3) 开展有芯喷头喷印实验研究，通过实验结果分析，并借助高速相机拍摄有芯喷头射流喷射过程，考察主要喷印参数对有芯喷头锥射流喷射过程的影响规律。电压幅值的增大对喷印液滴的直径及喷射频率影响较小；而电压脉冲频率，占空比是影响锥射流喷射频率的主要因素，改变脉冲频率的同时调节占空比可以很容易地实现频率可控的按需喷印；供液速度的增大将同时增大喷印液滴尺寸和实现同步喷射的脉冲频率范围；
- (4) 分别对不同喷嘴内径，针尖曲率半径及实心针伸出长度的有芯喷头进行脉冲喷印实验研究，考察有芯喷头主要结构参数对喷印结果的影响。采用喷嘴内径较小的有芯喷头有利于提高同步喷射的脉冲频率范围，获得直径更小的微

液滴；同时，缩小实心针尖曲率半径不仅能够降低锥射流喷射电压幅值，还能有效缩小喷印液滴尺寸；而有芯喷头结构中针尖的伸出长度不宜过短或过长，以接近喷嘴内径并超过喷嘴内径为佳；

- (5) 基于MEMS微加工工艺设计出有芯微喷头结构，选用单晶硅作为微喷头材料，上下层结构间绝缘层材料选用热氧化生长的二氧化硅薄膜，并根据喷头工作电压幅值范围确定二氧化硅薄膜厚度为 $2\mu\text{m}$ ；以有芯喷头脉冲喷印实验研究结果为主要依据同时考虑微加工工艺条件，确定喷头主要结构参数；设计出完整的加工工艺流程，并设计加工出掩模版。

关键词：电液耦合喷印；有芯喷头；MEMS

Abstract

Electrohydrodynamic printing (EHDP) technology, as a novel ink-jet printing method, is one of the most promising technologies for next generation of photonics manufacturing and micro-structural components etc. So the researches on the basic rules and process of EHDP, as well as the structure of inkjet head are of great importance and have drawn attention of scientists from both international academies and industries. In this dissertation, in order to enhance printing performance, pole-type inkjet head is introduced to EHDP system and the effect of the major head parameters on printing is investigated. Details are listed as follows:

- (1). Study the fundamentals of EHDP by mechanical model analysis, and discuss the basic conditions for the implementation of pulse cone injection, in which tangential resultant force $f_t > 0$, normal resultant force $f_n < 0$ should be fulfilled first within the positive voltage duration. For frequency controllable on-demand printing with synchronization of inkjet frequency and pulse frequency, the lower voltage duration should surpass the time needed for forming the critical liquid level simultaneously.
- (2). Investigate the effects of pole-type inkjet head on cone jet injection through experimental research and finite element model. The results show that, there occurs a sharp mutation of electric field near the pinpoint, which makes the EHD jet cutout easily at the tip of the pendant drop with smaller droplet deposition. Furthermore, the pin can improve the stability of the liquid surface and enhance injection precision by improving the injection orientation, and inhibiting the liquid drop back effect in the center of the pendant drop.
- (3). Explore the effects of major printing parameters on cone-jet injection process to the pole-type inkjet head and observe cone-jet injection process using high speed camera. The results suggest that, the voltage amplitude has little influence on the diameter of deposited droplet and injection frequency; while pulse frequency and duty cycle are the major factors affecting cone-jet injection frequency. Adjust the duty cycle according to different pulse frequency can realize frequency controllable on-demand printing easily; Increment in flow speed will lead to

larger droplet size and wider cone-jet injection frequency range.

- (4). Pulse inkjet printing experiments with different nozzle diameter, tip curvature radius and extension of pin to the nozzle are carried out respectively for the purpose of exploring the structural effect of pole-type inkjet head. The results show that, pole-type inkjet head with smaller nozzle diameter and sharper tip can achieve smaller droplet and increase the pulse synchronization frequency scope. The decrease of tip curvature radius can lower the voltage amplitude and decrease the size of droplet. The extension of pin to the nozzle with a dimension close to the nozzle diameter and slightly over would be better.
- (5). A micro inkjet head with pole-type structure is developed based on the MEMS processing technology, including upper and lower layer. Wafer of monocrystalline silicon is used for the inkjet head manufacturing. Between the upper and lower layer, SiO₂ film with 2μm thickness is thermally grown and serves as the insulation layer. According to the above results of the experiment research and considering the MEMS processing condition, the major structural parameters of the inkjet head are explored and intact process flows are carried out. The masks needed in the photo lithography process are also designed and finally manufactured.

Keywords: Electrohydrodynamics; Pole-type inkjet head; MEMS

目 录

摘 要	I
Abstract	III
第一章 绪 论	1
1.1 传统喷印技术简介	1
1.1.1 压电式喷印技术	2
1.1.2 热气泡式喷印技术	3
1.1.3 静电式喷印技术	4
1.2 电液耦合喷印技术	5
1.2.1 发展历程	6
1.2.2 研究现状	8
1.3 本研究课题的提出	10
1.4 主要研究内容	11
第二章 电液动力耦合喷印原理	12
2.1 电液动力耦合喷印基本原理	12
2.2 电液动力耦合喷射模式	15
2.3 脉冲锥射流喷射的基本条件	16
2.3.1 连续锥射流喷射的基本条件	17
2.3.2 溶液特性的影响	19
2.3.3 电场参数的影响	21
2.3.4 喷头结构的影响	24
2.3.5 脉冲电压作用下的锥射流喷射	31
2.4 本章小结	34
第三章 有芯喷头结构脉冲喷印实验	35
3.1 实验装置及相关实验设备	35
3.2 有芯喷头脉冲喷印实验	39
3.2.1 电压幅值的影响	39
3.2.2 脉冲占空比的影响	41
3.2.3 电压脉冲频率的影响	45

3.2.4 供液速度的影响.....	47
3.2.5 有芯喷头主要结构参数的影响.....	48
3.3 本章小结	56
第四章 微喷头结构设计与加工工艺	58
4.1 微喷头结构设计	58
4.1.1 微喷头材料的选取.....	60
4.1.2 绝缘层材料选取及厚度确定.....	60
4.1.3 有芯喷头关键结构参数确定.....	61
4.2 微喷头制备工艺流程设计	64
4.2.1 上层结构工艺流程设计.....	64
4.2.2 下层结构工艺流程设计.....	66
4.3 版图设计	68
4.4 本章小结	70
第五章 结论与展望	71
5.1 结论	71
5.2 工作展望	72
参考文献	73
致 谢	77
攻读硕士学位期间发表的论文	78

Table of Contents

Abstract	III
Chapter 1 Introduction	1
1.1 Principles of Classical Printings	1
1.1.1 Piezoelectric Printing	2
1.1.2 Thermal Bubble Printing.....	3
1.1.3 Electrostatic Printing.....	4
1.2 Electrohydrodynamic Printing	5
1.2.1 Development History	6
1.2.2 State of The Field	8
1.3 Issues Raised	10
1.4 Tasks and Works	11
Chapter 2 Electrohydrodynamic Printing	12
2.1 Principles of EHDP	12
2.2 Ejection Modes of EHDP	15
2.3 Conditions to Form a Pulsed Cone Jet	16
2.3.1 Conditions to Form a Continued Cone Jet.....	16
2.3.2 Influences of Solution Properties.....	19
2.3.3 Influences of Pulsating Voltages	21
2.3.4 Influences of Inkjet Head Structure	24
2.3.5 Pulsed Ejection.....	31
2.4 Summary	34
Chapter 3 Pulsed Ejection with a Pole-type Inkjet Head	35
3.1 Experimental Setup	35
3.2 Pulsed Ejection Experiments	39
3.2.1 Influence of Voltage	39
3.2.2 Influence of Duty Cycle Ratio	41
3.2.3 Influence of Voltage Frequency	45
3.2.4 Influence of Flow Rate.....	47
3.2.5 Influence of Structural Parameters of Pole-type Inkjet Head	48
3.3 Summary	56
Chapter 4 Design and Processes of a Micro Inkjet Head	58

4.1 Design of a Micro Inkjet Head	58
4.1.1 Inkjet Head Material	60
4.1.2 Insulation Layer	60
4.1.3 Structural Parameters	61
4.2 Process Flows	64
4.2.1 Process Flow of Upper Layer	64
4.2.2 Process Flow of Lower Layer	66
4.3 Design of Mask	68
4.4 Summary	70
Chapter 5 Conclusions and Future Work	71
5.1 Conclusions	71
5.2 Future Work	72
References	73
Acknowledgement	77
Publication	78

第一章 绪 论

在微电子或微纳米机电系统(M/NEMS)中,微纳米结构或图案的产生是器件制作的最为关键一步。目前较为成熟而被广泛使用的电子束、离子束、X-Ray以及软刻蚀如微接触印刷、蘸笔、纳米印痕等技术^[1],因工艺复杂、价格昂贵,开发成本高,不适合用于大面积、低成本柔性器件的开发或生产制造。高精度微纳喷印技术作为上述技术的补充或替代,在微纳米器件特别是聚合物生物微纳米器件与系统的研究开发与生产领域具有广阔的市场前景,是实现印刷显示器、RFID、光电产品、电脑存储等印刷电子产品市场化应用的关键之一。国际上一些著名的研究机构、企业纷纷投入开发此项技术,进一步在传统喷印技术的基础上研发下一代柔性电子制造专用喷印技术,如Dimatix和XAAR公司于2009年先后开发出电子喷印设备并投放市场^[2]。然而由于目前的喷印技术仍然以传统喷墨打印技术为基础,喷印液滴最小体积约为10pL,最小线宽50微米^[3],受传统喷印技术喷印原理和喷头结构等因素的限制,进一步降低线宽非常困难,难以满足下一代光电子产业对亚微米线宽制造的要求,大大限制了该项技术的应用范围,急需开发高精度喷印技术。

基于“近场电纺丝(Near-Field ElectroSpinning)”技术^[4]的电液耦合喷印技术是一种全新的材料喷印技术,凭借其独特的优势,成为满足下一代柔性电子制造最有希望的潜在技术,也是精密、微结构零件快速成型不可或缺的关键技术之一。电液耦合喷印技术喷印规律、喷印工艺及微喷头的研究具有重要学术价值和重大现实意义,已经引起国际学术界与工业界的高度关注。

1.1 传统喷印技术简介

喷墨打印(简称喷印)技术是利用局部能场(力、电、热、声等)作用致使墨液发生流变,产生墨滴,喷射、飞行,从而在基材表面形成微纳尺度结构图案的打印技术。喷印技术发展至今,技术创新不断涌现,喷印性能有了大幅的提升,应用领域也日益广泛,已经从传统的家用、办公场合的图形、图像印制逐步拓展到电子制造业、陶瓷制品、生物工程和化学分析、高分子薄膜以及薄膜电极等领域,目前已用于高分子发光二极管^[5]、薄膜晶体管及其集成器件^[6]的制造,被认

为是下一代柔性电子器件、大面积器件、曲面器件、光电子封装、生物器件等的最有前景的制造技术之一。

根据喷印的方式的不同,传统喷印技术可分为连续喷印和按需喷印两种。连续喷印方式以电荷控制型为主,是喷印技术最早期的形态,如图1-1所示,其工作原理是对喷嘴内的墨水施加一定压力,使其连续喷出墨滴,通过打印信号控制充电电极对墨滴进行充电,形成带电荷和不带电荷两种墨滴,在通过偏转电极时,带电墨滴在偏转电场作用下改变飞行方向,落到承印物上;不带电荷的墨滴则在通过偏转电场后被回收,过滤重新注入墨水盒中重复使用。连续式喷印速度很快,但结构相对复杂,效率不高,喷印精度较低,现在已经基本上被按需喷印方式所取代,目前采取这种喷墨方式的打印机已经很少,只在一些大幅面的打印机和喷码设备中可以见到^[7]。

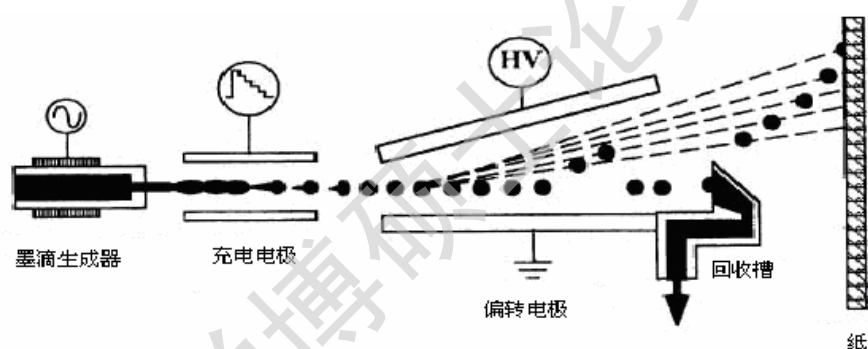


图1-1 连续喷墨打印示意图

按需喷印方式仅在需要打印时喷印墨水,无需充电电极、偏转电极及墨水循环系统等复杂的结构,结构相对简单。按溶液的驱动方式又可分为:热气泡式、压电式、静电式等。热气泡式和压电式喷印技术已经成熟,是目前商用设备的主流喷印技术。静电式等喷印技术起步较晚,目前还处于实验室研究阶段。以下对这几种喷印技术进行简要的介绍。

1.1.1 压电式喷印技术

图示1-2为压电式喷墨打印头结构示意图,打印头喷嘴周围布置有若干压电陶瓷片,利用压电陶瓷的压电逆效应,压电陶瓷在施加电压后发生形变引起机械振动,并传播至喷嘴出口处。压电陶瓷形变产生的正压使喷嘴处液体加速,并克

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库